发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪生长性能、血清生化指标和肉品质的影响[1]

许　翔[1]　李吕木[1*]　李　彬[2]　郭文杰[2]　朱本国[2]　李　姗[1]　鲁　陈[1]　卫爱莲[1]　丁小玲[1]　许发芝[1]　陈丽娟[1]

(1. 安徽农业大学动物科技学院，合肥 230036；2.安徽瑞福祥食品有限公司，亳州 236800)

摘　要：本试验旨在研究发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪生长性能、血清生化指标和肉品质的影响。选用 128 头体重为 40 kg 左右的“杜×长×大”杂交猪，根据性别随机分为 4 个组，每组 4 个重复，每个重复 8 头猪（公母各占 1/2）。对照组饲喂基础饲粮，试验 1、2 和 3 组饲粮分别用 5%、10%和 15%发酵小麦制酒精沼渣替代基础饲粮中的部分豆粕。预试期 7 d，试验期 60 d，分为前期（1~30 d）和后期（31~60 d）2 个阶段。结果表明：1）试验前期，各组生长肥育猪的生长性能指标均无显著差异（$P>0.05$）。试验后期，试验 1、2 和 3 组的平均日增重均显著高于对照组（$P<0.05$），分别增加了 16.47%、25.88%和 20.00%，且试验 2 组的平均日增重极显著高于对照组（$P<0.01$）；试验 1、2 和 3 组的平均日采食量均显著高于对照组（$P<0.05$）；而各组的料重比无显著差异（$P>0.05$）。试验全期，试验 2 和 3 组的平均日增重显著高于对照组（$P<0.05$）。2）饲粮中添加发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪的血清谷丙转氨酶（ALT）、谷草转氨酶（AST）活性以及总蛋白（TP）、尿素氮（UN）含量均无显著影响（$P>0.05$）。3）饲粮中添加发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪背最长肌的 pH_{1h}、亮度（L^*）、红度（a^*）、黄度（b^*）、滴水损失、蒸煮损失、剪切力、硬度、弹性、内聚性、回复性以及肌内脂肪含量均无显著影响（$P>0.05$）。试验 1 和 2 组背最长肌中苏氨酸、赖氨酸、脯氨酸、非必需氨基酸和总氨基酸含量显著高于对照组和试验 3 组（$P<0.05$），试验 2 组的谷氨酸、试验 1 组的甘氨酸以及试验 1 和 2 组的丝氨酸、丙氨酸含量均显著高于对照组（$P<0.05$）。饲粮中添加发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪背最长肌中脂肪酸含量均无显著影响（$P>0.05$）。结果提示，饲粮中添加 5%和 10%发酵小麦制酒精沼渣能提高生长肥育猪的平均日增重和平均日采食量，并可提高部分鲜味氨基酸的含量，进而改善肉的风味。

收稿日期：2016-08-08

基金项目：国家星火技术重点项目（2014GA710002）；安徽省教育厅自然科学研究重大项目（KJ2014ZD15）

作者简介：许　翔（1992—），男，安徽芜湖人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail：747532237@qq.com

*通信作者：李吕木，研究员，博士生导师，E-mail：llm56@ahau.edu.cn

关键词：发酵小麦制酒精沼渣；生长肥育猪；生长性能；血清生化指标；肉品质

中图分类号：S828　　　　文献标志码：　　　　文章编号：

小麦经过粉碎、水洗、发酵以及蒸馏等过程生产出酒精，同时产生了酒精糟液，酒精糟液经过离心分离，下层沉淀烘干为小麦干酒糟（DDG），上清液加入絮凝剂絮凝后过滤得浮渣，滤液进行沼气生产后得沼渣，若直接丢弃不仅会对环境造成污染[1-2]，也会造成蛋白质资源的浪费。研究表明，小麦制酒精沼渣干物质中粗蛋白质含量为35%左右[3]，且饲喂猪和鸡安全有效[4-5]，但由于其含水量高达 80%，不便于在饲料工业化中广泛应用，而与其他饲料原料混合后发酵再烘干即可有效克服这一不足[3]，但有关发酵小麦制酒精沼渣饲喂生长肥育猪的效果研究尚无报道。鉴此，本研究旨在探讨发酵小麦制酒精沼渣替代饲粮中的部分豆粕对生长肥育猪生长性能、血清生化指标和肉品质的影响，为其在生长肥育猪饲粮中的合理利用提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

发酵小麦制酒精沼渣的制作：以小麦制酒精废水生产沼气后的沼渣为原料，辅以麸皮，将水分含量调至 50%，酒曲接种量为 10%，链式多层好氧发酵，每 12 h 自动倒层翻料通风 1 次，发酵 48 h，然后烘干并粉碎。其中含干物质 92.01%、粗蛋白质 21.87%、粗脂肪 6.35%、粗纤维 7.57%、粗灰分 5.37%、钙 0.24%、总磷 0.48%、精氨酸 0.91%、组氨酸 0.73%、亮氨酸 1.25%、异亮氨酸 0.73%、赖氨酸 0.89%、蛋氨酸 0.32%、胱氨酸 0.48%、色氨酸 0.42%、苏氨酸 0.71%、苯丙氨酸 0.76%、酪氨酸 0.52%、缬氨酸 1.05%、天冬氨酸 1.57%、丝氨酸 0.80%、谷氨酸 3.53%、甘氨酸 1.14%、丙氨酸 1.04%、脯氨酸 1.12%。发酵小麦制酒精沼渣饲喂猪的消化能为 13.85 MJ/kg，干物质表观消化率为 86%，粗蛋白质表观消化率为 77.33%，粗蛋白质真消化率为 82.98%[4]。

1.2　试验方法

选用 128 头体重为 40 kg 左右的“杜×长×大”杂交猪，根据性别随机分为 4 个组，每组 4 个重复，每个重复 8 头猪（公母各占 1/2），各重复间体重差异不显著（P>0.05）。对照组饲喂基础饲粮，试验 1、2 和 3 组饲粮分别用 5%、10%和 15%发酵小麦制酒精沼渣替代基础饲粮中的部分豆粕。预试期 7 d，试验期 60 d，分为前期（1~30 d）和后期（31~60 d）2 个

阶段，试验饲粮组成及营养水平见表 1。试验期间管理按照猪场正常管理规范执行。

表 1　试验饲粮组成与营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	1~30 d Day 1 to 30				31~60 d Day 31 to 60			
	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2	试验 3 组 Experimental group 3	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2	试验 3 组 Experimental group 3
原料 Ingredients								
玉米 Corn	65.35	62.20	59.02	55.90	70.05	66.93	63.77	60.59
豆粕 Soybean meal	24.20	22.35	20.53	18.65	18.65	16.82	14.98	13.16
麸皮 Wheat bran	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00
发酵小麦制酒精沼渣 Fermented biogas residue of wheat after alcohol production		5.00	10.00	15.00		5.00	10.00	15.00
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.45	0.45	0.45	0.45	0.40	0.35	0.35	0.35
石粉 Limestone	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90	0.90	0.90
豆油 Soybean oil	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
预混料 Premix1)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels2)								
消化能 DE/(MJ/kg)	14.59	14.58	14.56	14.55	14.57	14.56	14.55	14.53
粗蛋白质 CP	17.01	17.01	17.02	17.02	15.12	15.14	15.14	15.15
钙 Ca	0.59	0.60	0.61	0.62	0.52	0.52	0.53	0.54
总磷 TP	0.47	0.47	0.47	0.47	0.44	0.43	0.43	0.43
赖氨酸 Lys	0.83	0.81	0.80	0.79	0.69	0.68	0.67	0.66
蛋氨酸 Met	0.27	0.26	0.26	0.26	0.24	0.24	0.24	0.24

蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.56	0.57	0.57	0.58	0.52	0.52	0.53	0.53
色氨酸 Trp	0.19	0.20	0.21	0.22	0.16	0.17	0.18	0.19
苏氨酸 Thr	0.62	0.61	0.61	0.60	0.54	0.54	0.53	0.53

1) 预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of diets：VA 70 000 IU，VD_3 30 000 IU，VE 100 mg，VK_3 25 mg，VB_2 50 mg，VB_6 30 mg，*D*-泛酸 *D*-pantothenic acid 130 mg，胆碱 choline 8 g，烟酸 nicotinic acid 300 mg，Cu 0.6 g，Mn 0.8 g，Fe 1.8 g，Zn 2.3 g，I 7 g，Se 8 g。

2) 营养水平均为计算值。Nutrient levels were all calculated values.

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生长性能

于试验开始、前期结束和后期结束时分别对各重复猪进行称重，记录试验期间的耗料量和体增重。称重前禁食（不禁水）12 h。计算平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）和料重比（F/G）。

1.3.2 血清生化指标

试验结束后，每个重复中随机选取 2 头（1 公 1 母）体重相近的猪，空腹 12 h 后前腔静脉采血 6 mL，室温下自然凝固后，3 000 r/min 离心 10 min 分离血清，编号后分装，于–20 ℃低温保存，用于血清总蛋白(TP)、尿素氮(UN)含量以及谷草转氨酶（AST）、谷丙转氨酶(ALT)活性的测定，检测仪器为自动生化分析仪（日立全自动 7600-020 型）。

1.3.3 肉品质

试验结束后，每个重复中随机选取 2 头（1 公 1 母）体重相近的猪屠宰，并取其左侧胴体的背最长肌（第五肋至最后部分），采用杨小婷等[6]的方法测定 pH_{1h}、亮度（L^*）、红度（a^*）、黄度（b^*）、滴水损失、蒸煮损失、嫩度（以剪切力表示）、硬度、弹性、内聚性、回复性以及肌内脂肪、肌苷酸、脂肪酸和氨基酸含量。pH 采用雷磁 PHB-4 型 pH 计（上海仪电科学仪器股份有限公司）测定，肉色采用 ADCI-WS1 型白度色度计（北京辰泰克仪器技术有限公司）测定，嫩度采用 C-LM3 型数显式肌肉嫩度仪（东北农业大学工程学院）测定，硬度、弹性、内聚性和回复性采用 TA.XT.PLUS 型质构仪（英国 SMSTA 公司）测定，肌内脂肪含

量采用 S2F-200 型全自动脂肪测定仪（上海新家仪器有限公司）测定，肌苷酸含量采用 Aiglent1100 型高效液相色谱仪（美国 Agilent 公司）测定，脂肪酸含量采用 Bruker Scion SQ 型气质联用仪（美国布鲁克公司）测定，氨基酸含量采用 Hitachi835-50 型自动分析仪（日本日立公司）测定。

1.4 数据统计与分析

试验数据以“平均值±标准差”表示，采用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA），以 P<0.05 表示差异显著，P<0.01 表示差异极显著。差异显著的指标用 Duncan 氏法进行多重比较。

2 结 果

2.1 发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪生长性能及血清生化指标的影响

由表 2 可见，试验前期，各组生长肥育猪的生长性能指标均无显著差异（P>0.05）。试验后期，试验 1 和 3 组的平均日增重均显著高于对照组（P<0.05），分别增加了 16.47%和 20.00%，试验 2 组的平均日增重极显著高于对照组（P<0.01），增加了 25.88%；试验 1、2 和 3 组的平均日采食量均显著高于对照组（P<0.05）；各组的料重比无显著差异（P>0.05）。试验全期，试验 2 和 3 组的平均日增重显著高于对照组（P<0.05）。

由表 3 可见，饲粮中添加发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪的血清谷丙转氨酶、谷草转氨酶活性以及总蛋白、尿素氮含量均无显著影响（P>0.05）。

表 2 发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪生长性能的影响

Table 2 Effects of fermented biogas residue of wheat after alcohol production on growth performance of growing-finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	试验1组 Experimental group 1	试验2组 Experimental group 2	试验 3 组 Experimental group 3	SEM	P 值 P-value
试验前期（1~30 d） Experiment early period (day 1 to 30)						
平均日增重 ADG/kg	0.84±0.06	0.80±0.04	0.83±0.06	0.85±0.03	0.01	0.55
平均日采食量	2.11±0.16	1.98±0.13	2.06±0.18	1.97±0.09	0.04	0.63

ADFI/kg						
料重比 F/G	2.48±0.15	2.46±0.07	2.49±0.02	2.32±0.12	0.04	0.18
后期（31~60 d） Experiment later period (day 31 to 60)						
平均日增重 ADG/kg	0.85±0.03[aA]	0.99±0.05[bAB]	1.07±0.08[bB]	1.02±0.11[bAB]	0.05	0.02
平均日采食量 ADFI/kg	2.51±0.15[a]	2.91±0.12[b]	3.11±0.27[b]	3.11±0.33[b]	0.14	0.03
料重比 F/G	3.00±0.18	2.94±0.12	2.92±0.14	3.06±0.12	0.05	0.72
全期（1~60 d） Experiment total period (day 1 to 60)						
平均日增重 ADG/kg	0.85±0.03[a]	0.91±0.02[ab]	0.95±0.05[b]	0.95±0.07[b]	0.02	0.04
平均日采食量 ADFI/kg	2.34±0.17	2.50±0.06	2.63±0.21	2.64±0.21	0.07	0.15
料重比 F/G	2.77±0.18	2.76±0.09	2.78±0.14	2.78±0.09	0.04	0.99

同行数据肩标相同或无字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，不同大写字母表示差异极显著(P<0.01)。下表同。

In the same row, values with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), and with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with different capital letter superscripts mean significant difference (P<0.01). The same as below.

表 3 发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪血清生化指标的影响

Table 3 Effects of fermented biogas residue of wheat after alcohol production on serum biochemical parameters of growing-finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2	试验 3 组 Experimental group 3	SEM	P 值 P-value
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	53.50±7.73	47.63±7.78	43.25±11.50	50.75±6.09	2.20	0.12

谷草转氨酶 AST/(U/L)	41.63±11.82	35.00±7.27	34.63±9.72	41.63±9.19	1.92	0.30
总蛋白 TP/(g/L)	74.41±5.03	70.51±14.20	72.85±14.33	73.90±6.20	1.92	0.89
尿素氮 UN/(mmol/L)	6.26±1.41	6.33±0.89	6.84±1.49	7.17±1.15	0.22	0.43

2.2 发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪肉品质的影响

由表 4 可见，饲粮中添加发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪背最长肌的 pH_{1h}、L^*、a^*、b^*、滴水损失、蒸煮损失、剪切力、硬度、弹性、内聚性、回复性以及肌内脂肪含量均无显著影响（P>0.05）。

由表 5 可见，试验 1 和 2 组背最长肌中苏氨酸、赖氨酸、脯氨酸、非必需氨基酸和总氨基酸含量显著高于对照组和试验 3 组（P<0.05），试验 2 组的谷氨酸、试验 1 组的甘氨酸以及试验 1 和 2 组的丝氨酸、丙氨酸含量均显著高于对照组（P<0.05）。

由表 6 可见，饲粮中添加发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪背最长肌中脂肪酸含量均无显著影响（P>0.05）。

表 4 发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪肉品质的影响

Table 4 Effects of fermented biogas residue of wheat after alcohol production on meat quality of growing-finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2	试验 3 组 Experimental group 3	SEM	*P* 值 *P*-value
pH_{1h}	6.62±0.26	6.69±0.15	6.65±0.16	6.64±0.22	0.04	0.93
亮度 L^*	43.03±1.90	42.66±1.43	43.01±2.02	41.41±2.33	0.38	0.31
红度 a^*	8.72±1.58	8.53±1.50	7.18±1.26	8.02±1.64	0.35	0.19
黄度 b^*	8.72±1.46	8.39±1.10	9.72±1.72	8.69±2.22	0.30	0.43
滴水损失 Drip loss/%	2.22±0.17	2.11±0.13	2.19±0.15	2.16±0.13	0.03	0.44
蒸煮损失 Cooking	34.73±3.16	37.76±2.87	36.11±3.32	36.26±2.17	0.62	0.25

loss/%						
剪切力 Shear force/N	33.79±7.78	32.98±8.58	29.55±6.72	32.85±3.49	1.22	0.63
硬度 Hardness/g	1 841.97±315.60	1 672.97±432.42	1 738.95±308.51	1 802.62±123.32	55.69	0.72
弹性 Elasticity/mm	0.57±0.09	0.48±0.09	0.53±0.06	0.50±0.06	0.02	0.11
内聚性 Cohesion	0.44±0.04	0.45±0.05	0.47±0.06	0.45±0.05	0.01	0.61
回复性 Resilience/N	0.17±0.08	0.18±0.06	0.18±0.06	0.17±0.05	0.01	0.98
肌内脂肪 Intramuscular fat/%	6.92±2.15	5.78±1.69	5.57±1.84	6.53±1.80	0.33	0.39

表 5 发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪背最长肌中肌苷酸和氨基酸含量的影响（干物质基础）

Table 5 Effects of fermented biogas residue of wheat after alcohol production on the contents of Inosinic acid and amino acid in *longissimus dorsi* muscle of growing-finishing pigs (DM basis) %

项目 Items	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2	试验 3 组 Experimental group 3	SEM	*P* 值 *P*-value
肌苷酸 IMP/(mg/g)	6.21±0.37	6.26±0.56	6.24±0.50	6.41±0.05	0.01	0.96
天冬氨酸 Asp	8.23±0.26	8.52±0.23	8.63±0.14	8.30±0.23	0.09	0.08
谷氨酸 Glu	14.23±0.35^{a}	14.82±0.47^{ab}	15.07±0.32^{b}	14.53±0.39^{ab}	0.18	0.04
丝氨酸 Ser	3.43±0.09^{a}	3.60±0.11^{b}	3.67±0.08^{b}	3.50±0.09^{ab}	0.05	0.02
组氨酸 His	3.89±0.14	4.09±0.12	4.12±0.15	3.96±0.18	0.06	0.14
甘氨酸 Gly	3.81±0.15^{a}	4.00±0.12^{b}	3.94±0.06^{ab}	3.79±0.09^{a}	0.05	0.04
苏氨酸 Thr	4.11±0.10^{a}	4.29±0.13^{b}	4.35±0.08^{b}	4.17±0.12^{a}	0.06	0.01
精氨酸 Arg	5.67±0.16	5.91±0.15	5.96±0.14	5.74±0.18	0.07	0.07
丙氨酸 Ala	5.23±0.16^{a}	5.47±0.11^{b}	5.50±0.11^{b}	5.31±0.14^{ab}	0.07	0.02
酪氨酸 Tyr	2.98±0.09	3.10±0.08	3.14±0.06	3.02±0.19	0.04	0.06
半胱氨酸 Cys	1.05±0.03	1.10±0.05	1.16±0.06	1.07±0.06	0.02	0.06

缬氨酸 Val	4.35±0.11	4.49±0.10	4.56±0.11	4.41±0.15	0.05	0.13
蛋氨酸 Met	2.34±0.08	2.42±0.06	2.45±0.05	2.36±0.06	0.03	0.08
苯丙氨酸 Phe	3.72±0.11	3.88±0.15	3.96±0.09	3.83±0.12	0.05	0.07
异亮氨酸 Ile	4.37±0.13	4.52±0.09	4.57±0.10	4.44±0.16	0.05	0.06
亮氨酸 Leu	7.85±0.21	8.18±0.23	8.29±0.16	7.99±0.24	0.10	0.06
赖氨酸 Lys	7.81±0.21^{a}	8.17±0.22^{b}	8.29±0.22^{b}	7.88±0.20^{a}	0.12	0.02
脯氨酸 Pro	3.25±0.09^{a}	3.43±0.08^{b}	3.39±0.18^{b}	3.25±0.10^{a}	0.05	0.03
色氨酸 Try	0.44±0.01	0.45±0.02	0.46±0.01	0.46±0.02	0.01	0.70
必需氨基酸 EAA	34.98±0.95	36.40±0.94	36.93±0.80	35.53±1.05	0.44	0.80
非必须氨基酸 NEAA	51.75±1.44^{a}	54.04±1.32^{b}	54.57±1.14^{b}	52.46±1.38^{a}	0.66	0.04
总氨基酸 TAA	86.73±2.39^{a}	90.43±2.24^{b}	91.50±1.94^{b}	88.00±2.42^{a}	1.09	0.02

表 6 发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪背最长肌中脂肪酸含量的影响

Table 6 Effects of fermented biogas residue of wheat after alcohol production on the contents of fatty acids in *longissimus dorsi* muscle of growing-finishing pigs %

项目 Items	对照组 Control group	试验 1 组 Experimental group 1	试验 2 组 Experimental group 2	试验 3 组 Experimental group 3	SEM	*P* 值 *P*-value
7,11,14-二十碳三烯酸 7,11,14-Eicosatrienoic acid	4.96±0.34	4.97±0.22	4.53±0.40	4.60±0.79	0.11	0.17
全顺-5,8,11,14-二十碳四烯酸 Arachidonic Acid	1.94±0.31	2.06±0.37	1.93±0.25	1.81±0.34	0.06	0.47
9-二十碳烯酸 9-Eicosenoic acid	0.50±0.05	0.51±0.07	0.51±0.08	0.50±0.07	0.01	0.97
9-十七碳烯酸 9-Heptadecenoic acid	0.69±0.11	0.56±0.12	0.55±0.09	0.62±0.12	0.03	0.07
9,12-十八碳二烯酸	3.84±0.67	3.92±0.55	3.50±0.67	4.05±0.83	0.12	0.43

9,12-Octadecadienoic acid						
13-十八碳烯酸 13-Octadecenoic acid	36.03±1.97	34.27±2.40	35.27±3.23	33.83±3.96	0.53	0.46
7-十六碳烯酸 7-Hexadecenoic acid	3.48±0.70	3.62±0.49	3.06±0.23	3.49±0.57	0.12	0.18
十八烷酸 Stearic acid	18.18±0.87	18.89±1.60	17.61±1.15	17.32±1.46	0.35	0.10
5,8,11,14,17-二十碳五烯酸 5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid	0.17±0.03	0.14±0.04	0.15±0.39	0.13±0.03	0.01	0.14
十四烷酸 Tetradecanoic acid	1.02±0.19	0.95±0.20	0.89±0.16	0.90±0.13	0.03	0.39
十六烷酸 Hexadecanoic acid	28.56±2.35	29.46±3.66	31.48±2.08	32.25±4.70	0.86	0.13
十七烷酸 Heptadecanoic acid	0.64±0.14	0.66±0.06	0.54±0.11	0.52±0.15	0.04	0.06
饱和脂肪酸 SFA	48.40±2.65	49.96±2.54	50.51±3.14	50.98±4.26	0.57	0.42
不饱和脂肪酸 UFA	51.60±2.65	50.04±2.54	49.49±3.14	49.02±4.26	0.57	0.42
单不饱和脂肪酸 MUFA	40.70±2.29	38.95±2.30	39.38±3.30	38.44±4.24	0.55	0.53
多不饱和脂肪酸 PUFA	10.91±0.79	11.09±1.00	10.11±0.49	10.58±1.41	0.21	0.23

结果均以各脂肪酸甲酯对应的峰面积占总离子流色谱图中总脂肪酸甲酯峰面积的百分比表示,即单一脂肪酸含量为该种脂肪酸占所测总脂肪酸含量的百分比。

The results are indicated by the percentage of corresponding peak area of the fatty acid methyl ester in the total fatty acid methyl ester peak area of total ion current chromatogram. Namely, the content of single fatty acid is the percentage of this fatty acid accounting for the content of total fatty acid.

3 讨 论

3.1 发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪生长性能的影响

本研究所用发酵小麦制酒精沼渣中的主要成分为小麦生产酒精后残留的小麦蛋白，主要由麦醇溶蛋白和麦谷蛋白组成，它们均富含谷氨酸和脯氨酸，对动物的肠道健康十分有利[7]；且小麦蛋白中谷氨酰胺的含量也很高[8]，而谷氨酰胺可以提高肠道消化功能[9]，改善日

增重，增加采食量[10-11]。研究表明，小麦蛋白可促进断奶仔猪生长，提高免疫力（效果优于血浆蛋白和谷氨酰胺），增加平均日增重，改善料重比[12]。也有研究表明，发酵蛋白饲粮替代普通蛋白饲粮饲喂畜禽时，可显著提高畜禽的生长性能[13-14]。本试验研究结果显示，试验后期，随着发酵小麦制酒精沼渣添加量的增加，试验 1、2 和 3 组的平均日采食量随之增加，且均显著高于对照组，这可能是由于经微生物发酵后，发酵小麦制酒精沼渣的 pH 降低，产生了浓郁的酸香味，改善了饲粮的适口性[15]，进而导致采食量增加。试验后期，试验 1、2 和 3 组的平均日增重均显著高于对照组，这可能是由于采食量的增加导致了平均日增重的增加，而料重比差异不显著。由此可以看出，试验后期，饲粮中添加 5%、10%和 15%的发酵小麦制酒精沼渣可显著提高生长肥育猪的平均日采食量和平均日增重；试验全期，添加 10%和 15%的发酵小麦制酒精沼渣可显著提高生长肥育猪的平均日增重；但更多添加量的发酵小麦制酒精沼渣对猪生长性能的影响还有待进一步研究。

3.2 发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪血清生化指标的影响

血清生化指标的变化是机体器官功能及营养代谢情况的综合反映[16]。血清中谷丙转氨酶和谷草转氨酶的活性是反映肝脏和心脏功能的重要指标[17]，主要参与体内的转氨基作用，影响机体许多物质的代谢。谷丙转氨酶主要存在于肝细胞浆中，当肝细胞膜受损时，血液中的谷丙转氨酶活性就会升高；而谷草转氨酶主要存在于心脏肌肉及肝脏线粒体中，当肝脏线粒体膜损伤后，血液中的谷草转氨酶活性会显著升高[18-19]。本试验结果显示，试验 1、2 和 3 组的血清谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性均低于对照组，说明添加不同水平的发酵小麦制酒精沼渣对机体的转氨基作用以及肝脏功能无显著影响。总蛋白含量主要反映机体内蛋白质吸收及体液免疫情况[20]；尿素氮含量可以反映机体蛋白质代谢及肾功能情况，当氨基酸平衡良好时，血清尿素氮含量下降[21]。本试验结果显示，各组血清总蛋白和尿素氮含量均无显著差异，表明不同添加水平的发酵小麦制酒精沼渣对机体内蛋白质代谢也无显著影响。综上所述，饲粮中添加 15%发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪的蛋白质代谢无显著影响。

3.3 发酵小麦制酒精沼渣对生长肥育猪肉品质的影响

猪肉的 pH、肉色、嫩度、滴水损失和蒸煮损失等为肉质评定的常用指标，也是猪肉食用品质及适口性的综合反映[22]。猪屠宰后由于肌肉糖酵解作用产生乳酸并引起 pH 下降，宰后 45~60 min 的肉样 pH 是公认的区分生理正常肉和异质肉的重要指标，若 pH 下降过快，

容易引起肉色变白、失水率增加以及蛋白质变性等，营养价值也会降低[23-24]。肌内脂肪含量则是肉质评定的重要指标之一，对肉的嫩度、多汁性以及香味具有重要影响[25-26]。本试验中，各组猪背最长肌的 pH_{1h}、L^*、a^*、b^*、滴水损失、蒸煮损失、剪切力、硬度、弹性、内聚性、回复性以及肌内脂肪含量均无显著差异，且与风味有关的脂肪酸含量也无显著差异，说明饲粮中添加发酵小麦制酒精沼渣对猪肉的表观品质和脂肪酸含量无显著影响。

猪肉中氨基酸的种类和含量也是衡量其品质的一项重要指标，如丙氨酸、甘氨酸、谷氨酸、天冬氨酸和丝氨酸可影响猪肉的鲜味[27]，这些氨基酸是肉鲜味形成所必需的前体氨基酸，特别是谷氨酸，它是最主要的鲜味物质，可形成肉鲜味并具有缓冲咸味与酸味等味道的作用。本试验结果显示，试验 1 和 2 组背最长肌中苏氨酸、赖氨酸、脯氨酸、非必需氨基酸和总氨基酸含量显著高于对照组和试验 3 组，试验 2 组的谷氨酸、试验 1 组的甘氨酸以及试验 1 和 2 组的丝氨酸、丙氨酸含量均显著高于对照组。这可能是由于发酵小麦制酒精沼渣的氨基酸利用率高于豆粕的原因。Feng 等[28]和吴东等[29]研究发现，动物饲喂发酵产品能有效维持肠道绒毛的平整状态，提高消化酶活性，进而可促进动物对氨基酸等养分的利用效率。因此，可以认为饲粮中添加 5%和 10%的发酵小麦制酒精沼渣可提高猪肉的鲜味是由于其提高猪肉中部分鲜味氨基酸的含量所至。

4 结 论

饲粮中添加 5%和 10%发酵小麦制酒精沼渣可提高生长肥育猪的平均日采食量、平均日增重及肉鲜味，对血清生化指标及肉品质无显著影响。因此，发酵小麦制酒精沼渣可以作为优质蛋白质饲料原料应用于生长肥育猪饲粮中。

参考文献：

[1] DRESCHKE G,PROBST M,WALTER A,et al.Lactic acid and methane:improved exploitation of biowaste potential[J].Bioresource Technology,2015,176:47–55.

[2] CHEN Y,HU W,FENG Y Z,et al.Status and prospects of rural biogas development in China[J].Renewable and Sustainable Energy Reviews,2014,39:679–685.

[3] 康连虎,李吕木,司雄元,等.小麦制酒精残渣发酵菌种筛选及其产物小肽的抗氧化活性[J].食品与发酵工业,2014,40(7):72–76.

[4] BIAN B G,LI L M,SI X Y,et al.Safety and nutritional evaluation of biogas residue left after the

production of biogas from wastewater[J].Italian Journal of Animal Science,2015,14(3):3681.

[5] 许翔,卞宝国,李吕木,等.小麦制酒精废水生产沼气后沼渣饲喂鸡的营养价值评定[J].饲料工业,2015,36(17):23–26.

[6] 杨小婷,李吕木,许发芝,等.日粮蛋白水平对圩猪生长性能、肉质和血清生化指标的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2013,41(10):1–8.

[7] REEDS P J,BURRIN D G,STOLL B,et al.Intestinal glutamate metabolism[J].The Journal of Nutrition,2000,130(4):978S–982S.

[8] APPER-BOSSARD E,FENEUIL A,WAGNER A,et al.Use of vital wheat gluten in aquaculture feeds[J].Aquatic Bio-systems,2013,9(1):21.

[9] LÓPEZ-PEDROSA J M,MANZANO M,BAXTER J H,et al.*N*-Acetyl-L-glutamine,a liquid-stable source of glutamine,partially prevents changes in body weight and on intestinal immunity induced by protein energy malnutrition in pigs[J].Digestive Diseases and Sciences,2007,52(3):650–658.

[10] HANCZAKOWSKA E,NIWIŃSKA B,GRELA E R,et al.Effect of dietary glutamine,glucose and/or sodium butyrate on piglet growth,intestinal environment,subsequent fattener performance,and meat quality[J].Czech Journal of Animal Science,2014,59(10):460–470.

[11] WU G Y,MEIER S A,KNABLE D A.Dietary glutamine supplementation prevents jejunal atrophy in weaned pigs[J].The Journal of Nutrition,1996,126(10):2578–2584.

[12] RICHERT B T,HANCOCK J D,MORRILL J L.Effects of replacing milk and soybean products with wheat glutens on digestibility of nutrients and growth performance in nursery pigs[J].Journal of Animal Science,1994,72(1):151–159.

[13] KIM Y G,LOHAKARE,J D,YUN J H,et al.Effect of feeding levels of microbial fermented soy protein on the growth performance,nutrient digestibility and intestinal morphology in weaned piglets[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2007,20(3):399–404.

[14] 程伟,王国强,常娟,等.微生物发酵复合蛋白质原料对生长猪生长性能和营养物质消化率的影响[J].动物营养学报,2014,26(5):1279–1286.

[15] 孙建广.发酵乳酸杆菌对生长肥育猪生长性能和肉品质的影响[D].硕士学位论文.长沙:

湖南农业大学,2009:29-30.

[16] JANG Y H,YEO Y S. Effect of nutrition density and zeolite level in diet on body weight gain, nutrient utilization and serum characteristics of broilers[J].Korean Journal of Animal Science, 1983,25:598-602.

[17] NYBLOM H,BERGGREN U,BALLDIN J,et al.High AST/ALT ratio may indicate advanced alcoholic liver disease rather than heavy drinking[J].Alcohol and Alcoholism,2004,39(4):336–339.

[18] BOGIN E,PEH H C,AVIDAR Y,et al.Sex and genotype dependence on the effects of long-term high environmental temperatures on cellular enzyme activities from chicken organs[J].Avian Pathology,1997,26(3):511–524.

[19] ZHU M,LIN K F,YEUNG R Y,et al.Evaluation of the protective effects of *Schisandra chinensis* on phase I drug metabolism using a CCl_4 intoxication model[J].Journal of Ethnopharmacology,1999,67(1):61–68.

[20] KATANBAF M N,JONES D E,DUNNINGTON E A,et al.Anatomical and physiological responses of early and late feathering broiler chickens to various feeding regimes[J].Archives Geflügelkeit,1988,52:119–126.

[21] KILIÇ A,AKAY M T.A three generation study with genetically modified Bt corn in rats:biochemical and histopathological investigation[J].Food and Chemical Toxicology,2008,46(3):1164–1170.

[22] LIU J B,HE J.Effects of birth weight and postnatal high-fat diet on growth performance,carcass and meat quality in pigs[J].The Journal of Animal & Plant Sciences,2014,24(6):1606–1612.

[23] LI Y J,LI J L,ZHANG L,et al.Effects of dietary energy sources on post mortem glycolysis,meat quality and muscle fibre type transformation of finishing pigs[J].PLoS One,2015,10(6):e0131958.

[24] LIU Y Y,KONG X F,JIANG G L,et al.Effects of dietary protein/energy ratio on growth performance,carcass trait,meat quality,and plasma metabolites in pigs of different

genotypes[J].Journal of Animal Science and Biotechnology,2015,6:36.

[25] HEYER A,LEBRET B.Compensatory growth response in pigs:effects on growth performance,composition of weight gain at carcass and muscle levels,and meat quality[J].Journal of Animal Science,2007,85(3):769–778.

[26] CAMERON N D,ENSER M,NUTE G R,et al.Genotype with nutrition interaction on fatty acid composition of intramuscular fat and the relationship with flavour of pig meat[J].Meat Science,2000,55(2):187–195.

[27] CAMERON N D,ENSER M B.Fatty acid composition of lipid in *Longissimus dorsi* muscle of Duroc and british landrace pigs and its relationship with eating quality[J].Meat Science,1991,29(4):295–307.

[28] FENG J,LIU X,XU Z R,et al.Effects of fermented soybean meal on intestinal morphology and digestive enzyme activities in weaned piglets[J].Digestive Disease and Science,2007,52(8):1845–1850.

[29] 吴东,钱坤,徐鑫,等.发酵菜籽饼用作肥育猪饲料的营养价值评定[J].养猪,2015(3):10–13.

Effects of Fermented Biogas Residue of Wheat after Alcohol Production on Growth Performance, Serum Biochemical Parameters and Meat Quality of Growing-Finishing Pigs

XU Xiang[1] LI Lvmu[1*] LI Bin[2] GUO Wenjie[2] ZHU Benguo[2] LI Shan[1] LU Chen[1] WEI Ailian[1] DING Xiaoling[1] XU Fazhi[1] CHEN Lijuan[1]

(1. *College of Animal Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei* 230036, *China*; 2. *Anhui Ruifuxiang Food Co. Ltd., Bozhou* 236000, *China*)

Abstract: The present study was conducted to investigate the effects of fermented biogas residue of wheat after alcohol production on growth performance, serum biochemical parameters and meat quality of growing-finishing pigs. One hundred and twenty-eight “Duroc×Landrace×Yorkshire” hybrid pigs with the body weight about 40 kg were randomly allocated into four groups with four replicates per group and eight pigs per replicate by gender (males and females in half). The pigs in the control group were fed the basal diet, and those in

*Corresponding author, professor, E-mail: llm56@ahau.edu.cn （责任编辑 李慧英）

experimental groups 1, 2 and 3 were fed the basal diet supplemented with 5%, 10% and 15% fermented biogas residue of wheat after alcohol production replacing the part of soybean meal, respectively. The pre-test lasted for 7 days, and the experiment lasted for 60 day consisting of early period from 1 to 30 days and later period from 31 to 60 days two periods. The results showed as follows: 1) there were no significant differences in growth performance indices of growing-finishing pigs among all groups in early period (P>0.05). In later period, the average daily gain (ADG) in experimental groups 1, 2 and 3 was significantly higher than that in the control group and increased by 16.47%, 25.88% and 20.00%, respectively (P<0.05), and ADG in experimental group 2 was significantly higher than that in the control group (P<0.01); the average daily feed intake (ADFI) in experimental groups 1, 2 and 3 was significantly higher than that in the control group (P<0.05); and the ratio of feed to gain (F/G) had no significant difference among all groups (P>0.05). ADG in experimental groups 2 and 3 was significantly higher that than in the control group in whole period (P<0.05). 2) Dietary fermented biogas residue of wheat after alcohol production had no significant effects on the activities of alanine aminotransferase (ALT) and aspartate aminotransferase (AST) and the contents of urea nitrogen (UN) and total protein (TP) in serum of growing-finishing pigs (P>0.05). 3) Dietary fermented biogas residue of wheat after alcohol production had no significant effects on pH_{1h}, L^*, a^*, b^*, drip loss, cooking loss, shear force, hardness, elasticity, cohesion, resilience and the content of intramuscular fat in *longissimus dorsi* muscle of growing-finishing pigs (P>0.05). The contents of threonine (Thr), lysine (Lys), proline (Pro), non-essential amino acids and total amino acid in *longissimus dorsi* muscle of pigs in experimental groups 1 and 2 were significantly higher than those in the control group and experimental group 3 (P<0.05), and the content of glutamate (Glu) in experimental group 2, glycine (Gly) in exprimental group 1 and serine (Ser) and alanine (Ala) in experimental groups 1 and 2 in *longissimus dorsi* muscle were significantly higher than those in the control group (P<0.05). Dietary fermented biogas residue of wheat after alcohol production had no significant effects on the contents of fatty acids in *longissimus dorsi* muscle of growing-finishing pigs (P>0.05). The results suggest that dietary 5% and 10% fermented biogas residue of wheat after

alcohol production can increase the ADG and ADFI of growing-finishing pigs and improve the contents of part of delicious amino acid to improve the meat flavor.

Key words: fermented biogas residue of wheat after alcohol production; growing-finishing pigs; growth performance; serum biochemical parameters; meat quality